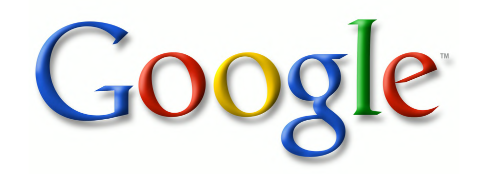
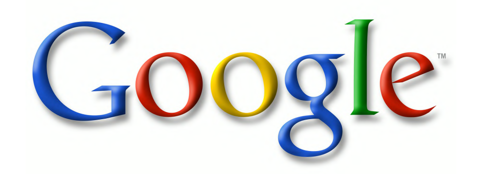

Google



Die Verwendung des Kohärers zur Messung von Dielektricitätskonstanten.

Inaugural - Dissertation,

die zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

nebst den beigefügten Thesen

mit

Genehmigung der philosophischen Fakultät der Universtität Greifswald

Montag, den 15. August 1904

öffentlich verteidigen wird

Wilhelm Scheer

aus Oranienbaum, Anhalt.

Opponenten:

F. Fischer, cand. math.

F. Gagelmann, cand. math.

R. Krahl, cand. phil.

Greifswald.

Druck von F. W. Kunike.

1904.

Gedruckt mit Genehmigung der philosophischen Fakultät
der Königlichen Universität Greifswald.

Prof. Dr. Gercke, Dekan.

Referent: Prof. Dr. König.

Einleitung.

Dielektricitätskonstanten sind in neuerer Zeit vielfach nach der von Nernst ausgearbeiteten Methode durch Vergleichung von Kapazitäten in der Brückenkombination bestimmt worden. Das zuerst von Nernst veröffentlichte Verfahren[1]) bildet gewissermassen eine Umgestaltung der Kohlrauschschen Telephon-Brückenmethode. Zwei Widerstände und zwei Messkondensatoren sind zu einem Wheatstoneschen Parallelogramm vereinigt, welches von einem kleinen Induktorium mit Wechselstrom gespeist wird. In der Brücke liegt als Indikator ein Telephon, welches durch Verschieben der Kapazitäten auf das Tonminimum eingestellt wird. Die theoretische Genauigkeit der Methode ist von Turner[2]) eingehend geprüft. Nach verschiedenen von ihm getroffenen Abänderungen ist es möglich geworden, geeignete Kapazitäten bis auf $^1/_{10000}$ (w. F.) zu messen. Die Genauigkeit der Messungen hängt in erster Linie von der Genauigkeit ab, mit welcher die Glasplatte des Messkondensators eingestellt werden kann. Mit Bezug hierauf sagt Tangl[3]): „Die einzelnen

1) Zeitschrift für physikal. Chemie Bd. 14, S. 622. 1894.
2) Dissertation, Göttingen 1900.
3) Annalen d. Physik (4) Bd. 10, S. 754. 1903.

Einstellungen zeigen selten Abweichungen von 0,2 mm, im Durchschnitt betrug die maximale Abweichung 0,1 mm, in selteneren Fällen 0,2 mm." Für leitende Substanzen ist ein an die Kondensatoren gelegter Kompensationswiderstand als Nebenschluss unerlässlich. Obgleich sich das Tonminimum dabei verflacht, ist es doch möglich, Flüssigkeiten mit einer Leitfähigkeit bis zu 2.10^{-10} zu untersuchen. Abgesehen davon, dass das Tonminimum noch nicht Stromlosigkeit in der Brücke anzeigt, kann aber bei der äusserst feinen Verschiebung der Messapparate nur ein geübtes feines Gehör die durch die ungenaue Einstellung bedingte Unsymmetrie der Klangfarbe und Tonstärke erkennen.[1]) Dabei sind die unvermeidlichen äusseren Geräusche des Induktoriums oder Wehneltunterbrechers sehr störend. Da nach Maxwell die dielektrischen Messungen durch eine gewisse Leitfähigkeit und Rückstandsbildung der Objekte im hohen Grade beeinflusst werden, so können sicherere Bestimmungen, besonders von besser leitenden Dielektrikas, nur unter Benutzung schnell wechselnder Felder ausgeführt werden. Nernst[2]) benutzt daher in seiner zweiten Arbeit schnelle elektrische Schwingungen. Auch hier liegt die Brückenkombination zu Grunde. Die vier Zweige sind Kapazitäten, die durch elektromagnetische Koppelung von einem Thomsonschen Schwingungskreise schnelle elektrische Schwingungen empfangen. In der Brücke befindet sich eine fein verstellbare Funkenstrecke, der Transformationsspulen vorgeschaltet sind, oder eine Vakuumröhre. Von der Empfindlichkeit der Methode sagt Nernst

---

1) Nernst. Zeitschrift für phys. Chemie Bd. 14 S. 652. 1894.
2) Annalen der Physik u. Chemie Bd. 60 S. 600. 1897.

selbst: „Man findet, dass bei äusserster Kleinheit der Funkenstrecke ein mehr oder minder ausgedehntes Gebiet existiert, innerhalb dessen die Funken erlöschen.“ Für diesen toten Bereich ist also eine Einstellung unmöglich. Die Beobachtungen müssen mit der Funkenstrecke oder der Vakuumröhre als Indikatoren im Dunkeln gemacht werden, was für das Ablesen der Einstellungen sehr unangenehm ist. Selbst Nernst muss eingestehen: „Die Beobachtungen werden etwas diffizil, weil im völlig verdunkelten Zimmer die Messkondensatoren u. s. w. wiederholt eingestellt werden müssen.“ Das Verfahren gestattet, Flüssigkeiten mit einer Leitfähigkeit bis zu 2.10^{-9} ohne Kompensationswiderstand mit einer Genauigkeit von Bruchteilen eines Prozents zu bestimmen. Eine genaue Messung besser leitender Flüssigkeiten hält Nernst für prinzipiell möglich, doch sind noch gewisse Störungen zu beseitigen. Kossonogoff[1]) kommt nun nach der kritischen Übersicht dieser und anderer Methoden zu dem Schlusse, dass die wesentlichen Bedingungen neuer Methoden darin bestehen müssen, homogene elektrische Wellen zu benutzen und die Wellendetektoren zu vervollkommnen. Hinsichtlich des letzteren Punktes liegt die Frage nahe, ob nicht der durch seine Empfindlichkeit in der drahtlosen Telegraphie genugsam bekannte Kohärer hier als Wellendetektor mit Vorteil zu verwenden ist. Die im Folgenden beschriebenen Versuche, die übrigens schon vor Erscheinen der Arbeit Kossonogoffs begonnen waren, haben die experimentelle Prüfung dieser Frage zum Ziele gehabt. Die Unter-

1) Kossonogoff. Methoden zur experimentellen Best. des diel. Koeff., J. d. russischen phys.-chem. Gesellschaft 35, Phys. T., S. 331—407. 1903.

suchungen waren zum befriedigenden Abschluss gelangt, als in den Nachrichten von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen eine dritte Arbeit von Nernst[1]): „Über die Verwendung des elektrolytischen Detektors in der Brückenkombination" erschien. In einer Anmerkung hierzu sagt Nernst: „Frühere Versuche, einen gewöhnlichen Kohärer zu verwenden, verliefen resultatlos, weil die Empfindlichkeit dieses Apparats für Messzwecke zu veränderlich ist." Im Gegensatz hierzu werden die folgenden Ausführungen dartun, dass der Fritter als Wellendetektor sehr wohl zu verwenden ist und bei richtiger Konstruktion an konstanter Empfindlichkeit nichts zu wünschen übrig lässt.

I. Vorversuche.

Als die am nächsten liegende Einordnung des Kohärers K in das System der aus den vier Kapazitäten c_1, c_2, c_3, c_4 gebildeten Brückenkombination erschien folgende in Fig. 1 skizzierte Versuchsanordnung. L_2 ist die Sekundärspule, welche die schnellen elektrischen Schwingungen des Oszillators nach O_1 und O_2 überträgt. J_1 und J_2 sind die Anschlagsstellen des Indikatorkreises, in welchem sich der Kohärer K befindet. Derselbe schliesst zugleich einen durch ein Element E und ein Galvanometer G gebildeten Gleichstromkreis. Da es zweckmässig erschien, die elektromotorische Kraft von E zu variieren, so wurde der erwähnte Gleichstromkreis als Nebenstromkreis von einem Hauptstromkreis abgezweigt. Mit dieser Anordnung wurde zunächst die zweckmässigste Gestalt des

1) Nernst u. von Lerch, math.-physikal. Klasse 1904 Heft 2 S. 166.

Kohärers ausgeprobt. Es erwies sich als notwendig, das Kohärerprinzip für meine Zwecke passend umzugestalten.

Während in der drahtlosen Telegraphie Fritter von hoher Empfindlichkeit benutzt werden, war es bei meinen Versuchen notwendig, den Einfluss der in der Funkenstrecke des Oszillators erzeugten, durch die Luft sich ausbreitenden elektrischen Wellen zu beseitigen und daher einen weniger empfindlichen Kohärer anzuwenden, der aber immerhin noch kohäriert, wenn schnelle elektrische Schwingungen direkt hindurch geleitet werden. Der empfindliche Silberfeilichtkohärer der A. E. G., wie er zu Versuchen in der Funkentelegraphie benutzt wird, war deshalb nicht brauchbar. Der Autodekohärer von Castelli[1]), welcher in einer engen Glasröhre zwischen Kohleelektroden und einem Stahlstäbchen zwei Quecksilbertropfen enthält, erwies sich ebenfalls als ungeeignet. Die Einstellung und Justierung war schwierig und die Entfrittung musste meistens doch durch äusserst vorsichtiges Klopfen erzielt werden. Ausserdem musste das anzulegende Potential äusserst gering sein, da sonst von selbst Kontaktwirkung eintrat. Der Galvanometerausschlag war demzufolge auch gering. Beim Eintreten der Kohärenz sank ferner der Widerstand plötzlich auf ein Minimum herab. Es war daher nicht in dem gewünschten Masse möglich, durch Verschiebung der Messkondensatoren den Galvanometerausschlag zu vergrössern oder zu verkleinern. Letzteres gilt auch für den Fritter von Lodge.[2]) Hier taucht ein rotierendes, blank poliertes Stahlrädchen mit messerartig geschärftem Rande äusserst wenig

1) Castelli, Electrician 49, S. 387—388.
2) Lodge, Proceedings of the Royal Society LXXI Nr. 474, p. 402.

in Quecksilber, welches mit einer Ölschicht bedeckt ist. Auch bei diesem darf nur nach erfolgter schwieriger Einstellung eine äusserst schwache Spannung angelegt werden, da sonst die dielektrische Festigkeit des Öles versagt. Tritt Kohärenz ein, so bildet eine kleine Fläche des polierten Randes eine leitende Überbrückung, und der vorhandene Strom fliesst in seiner ganzen Stärke durch das Galvanometer. Ein allmähliches Ansteigen und Verschwinden des Ausschlages war auch hier durch Verschieben der Messkondensatoren nicht zu erreichen.

Erfolgreicher erwiesen sich die Versuche, welche mit Abänderungen des gewöhnlichen Metallfeilichtkohärers angestellt wurden. Nach mannigfachen Versuchen wurde folgende Form als zweckentsprechend gefunden. T (Fig. 2) ist eine 2 cm hohe Trommel, deren Mantel, ein Glasring, einen Durchmesser von 5 cm besitzt. Die Stirnwände sind Messingscheiben, die luftdicht mit dem Glasringe zusammengekittet sind. In den Zwischenraum wird das Fritterpulver gebracht. Zu beiden Seiten der um eine Messingachse leicht drehbaren Trommel sitzen amalgamierte Kupferrädchen K_1, K_2, die in Quecksilber tauchen und so eine gute Leitung zu den Messingelektroden sichern. Eine Kohärerwirkung loser Kontakte, die bei Schleiffedern und ähnlichen Übertragungen leicht eintreten kann, ist somit ausgeschlossen. Die kleine Hartgummischeibe S dient zur Transmission. Um den Kohärer sicher zu entfritten, sind ungefähr 100 Umdrehungen in der Minute notwendig. Bei zu schneller Rotation bleibt infolge der Centrifugalkraft fortwährend eine leitende Überbrückung am Rande bestehen, sodass der Nullpunkt der Einstellung nicht zu erreichen ist. Grosse Sorgfalt ist auf die

Füllung der Trommel zu verwenden. Kleine Schrauben, polierte Stahlkugeln aus Kugellagern, Silberfeilicht u. s. w. erwiesen sich zum Teil als zu empfindlich, zum Teil als unzweckmässig wegen des sehr unruhigen Galvanometerausschlages. Ich benutzte schliesslich Feilicht aus weichem Eisen, das durch ein gewöhnliches Kaffeesieb von gröberen Spänen, durch feine Müllergaze von Eisenstaub befreit war. Die Trommel wurde ungefähr $^3/_4$ mit diesem Pulver gefüllt. Im Verlaufe der Untersuchung war es nur ab und zu notwendig, durch Sieben den durch gegenseitige Reibung neugebildeten Eisenstaub zu entfernen und die Messingelektroden mit Smirgelpapier zu reinigen. Wie die Versuche zeigten, sind die Kohärer mit kürzerer Trommel und grösserem Querschnitt infolge ihres kleineren Widerstandes die geeigneteren. Der Fritter besitzt eine geringere Empfindlichkeit als die bereits erwähnten, erschien aber deshalb für meine Zwecke besonders brauchbar. Nur aussergewöhnlich kräftige, zu den späteren Messungen niemals angewandte elektrische Schwingungen, welche in einer ungeschützten Funkenstrecke erzeugt wurden und durch die Luft, also ohne jede Drahtleitung, auf ihn einwirkten, konnten seinen hohen Widerstand zum Teil brechen. Kleinere Funken, wie ich sie gewöhnlich bei meinen späteren Versuchen benutzte, übten keinen direkten Einfluss aus. Es war daher nicht wie früher notwendig, die Funkenstrecke in einem Metallkasten unterzubringen und vom Kohärer weit entfernt aufzustellen. Wurden die elektrischen Schwingungen durch eine Drahtleitung übermittelt, so trat sofort eine kräftige Kohärerwirkung auf, die jedoch sogleich aufgehoben wurde, wenn der Kohärer rotierte. Waren die Messkondensatoren bis auf 2—3 mm auf Gleichheit ein-

gestellt, so sank nach einer sehr kurzen Einwirkung der Wellen der anfänglich unendliche Widerstand des ruhenden Kohärers auf 7000 Ohm herab. Bei grosser Funkenstärke und möglichst grosser Ungleichheit der beiden Messkondensatoren sank er bis auf ca. 80 Ohm. War der Fritter aus dem Brückensystem herausgenommen und direkt an die Enden der Spule L_2 (Fig. 1) angelegt, so ergab sich ein Widerstand von nur 3 Ohm. Hieraus ist ersichtlich, dass der Widerstand für Messzwecke leicht variiert werden kann. Im Gegensatz zu den bereits erwähnten Fritterformen, bei welchen als Gleichstrom nur Bruchteile eines Volt zur Anwendung gelangen durften, bestand ein weiterer Vorteil darin, dass erst eine angelegte Spannung von 30 Volt die dielektrische Festigkeit des Kohärerpulvers zu brechen vermochte. Für das Galvanometer — ein Wiedemannsches Spiegelgalvanometer — erwiesen sich Spulen kleinster Windungszahl und geringsten Widerstandes (0,27 Ohm) als die geeignetsten. Spulen mit grösserer Windungszahl und entsprechend grösserem Widerstande verursachten eine Unruhe der Nadel. Die Ausschläge waren wohl grösser, aber infolge des Hin- und Herschwankens schwer ablesbar. Ausserdem genügte für die Versuche auch bei Benutzung der Spule kleinster Windungszahl schon eine Spannung von 2 Volt, und selbst dann konnte die Empfindlichkeit des Galvanometers nicht voll ausgenutzt werden, indem die beiden Spulen noch in einem beträchtlichen Abstande von dem Magneten aufgestellt werden mussten. Die Freiheit in der Verschiebung der Spulen war aber zur Veränderung der Empfindlichkeit bei den späteren Messungen höchst willkommen.

2. Die endgültige Versuchsanordnung.

Trotz der brauchbaren Eigenschaften der beschriebenen Kohärerform befriedigten die Versuche nicht. Die Galvanometerausschläge waren noch immer unruhig und erschwerten die Einstellung. Oft war auch der Ausgangspunkt der Skala, der Nullpunkt, durch Einstellung des Messkondensators nicht zu erreichen. Die im Gegensatz zur Minimummethode sehr erwünschte Nullmethode war also nur unter günstigen Umständen erreichbar. Es war die Frage, ob eine anderweitige Schaltung des Kohärers nicht bessere Resultate erwarten liess. In der bereits beschriebenen Anordnung bildet der Galvanometerkreis gewissermassen einen Nebenschluss für die ankommenden Schwingungen. Vielleicht sind hierin die bestehenden Mängel zu suchen. Ich vereinfachte daher die Methode durch Beseitigung des Nebenstromkreises, indem ich den Galvanometerkreis an die Punkte J_1 und J_2 legte und diese Stellen durch eine Spule verband. Diese Anordnung ergab sehr befriedigende Resultate. Sie wurde deshalb endgültig beibehalten und durch dielektrische Messungen geprüft. Ich gebe zunächst die genaue Beschreibung dieser neuen Schaltung (Fig. 3).

Unter Benutzung der Wheatstoneschen Brückenkombination sind drei Schwingungskreise gebildet. Das System I der skizzierten Versuchsanordnung wird durch ein Induktorium (J) von mittlerer Grösse gespeist. Statt des Neefschen Hammers wurde jedoch der Wehnoltunterbrecher benutzt. Dieser trägt durch seine hohe Unterbrechungszahl wesentlich zum Gelingen der Versuche bei. Um dieselbe bei geringerer Spannung noch zu steigern, ist in der zur Füllung benutzten Akkumulatorensäure Magnesiumsulfat gelöst. Nach der An-

weisung von Hauser[1]) wurden zur verdünnten Schwefelsäure etwa 20 Gewichtsprozente hinzugesetzt. F ist eine Funkenstrecke. Sie muss nach erfolgter Einstellung durchaus konstant sein. Die Pole sind aus diesem Grunde mit einer Platinkappe überzogen und vorn abgeplattet. Anderes Material, wie Messing und Zink, erwies sich hierfür als ungeeignet, da es sich selbst unter Öl schnell abnutzte. Vor der jedesmaligen Benutzung wurden die Platinflächen auf einem Ölstein sorgfältig abgeschliffen. Das System I, ein Thomsonscher Schwingungskreis, enthält ausser dem durch eine Glasplatte mit Stanniolbelag gebildeten Kondensator C_0 von ca. 2000 cm Kapazität noch eine durch ein Solenoid L_1 gebildete Selbstinduktion. Ich benutze eine Spule von 10 Windungen, deren Durchmesser 4 cm und deren Länge 5 cm betrug. Bei einer Drahtstärke von 3 mm beläuft sich L_1 unter Benutzung der Formel $\frac{4\pi n^2 q}{l}$ (n Windungszahl, q Querschnitt und l Länge der Spule) auf ungefähr $3{,}1 \,.\, 10^3$ cm. Die Schwingungszahl des Generators lässt sich demnach nach der bekannten Formel

$$n = \frac{c}{\pi \sqrt{L . C}}$$

(c Lichtgeschwindigkeit, L Selbstinduktion, C Kapazität) zu ungefähr 4 Millionen berechnen. Die zur Messung benutzte Wellenlänge beträgt also ca. 75 m.

Mit dem System I ist das folgende, das Brückenparallelogramm, elektromagnetisch gekoppelt. Die direkte oder Kraftkoppelung erwies sich als unvorteilhaft. Die zur Übertragung der Schwingungen dienende Selbstinduktion L_2 besteht aus einer Spule von 40 Windungen gewöhnlichen Leitungsdrahtes

1) Soc. Fisica y Quimica, Madrid.

(0,8 mm Durchmesser), welche L_1 umschliesst. Die Koppelung ist eine enge. Da die Empfindlichkeit der Brückenanordnung mit Zweigen von annähernd gleicher Kapazität am grössten ist und die mittlere Kapazität der Messkondensatoren c_2 und c_4 ungefähr 75 cm beträgt, so sind für die Zweige 1 und 3 ebenfalls Kapazitäten von 75 cm gewählt. Die Gleichheit von c_1 und c_3 konnte jederzeit durch einen Umschalter (in der Figur nicht gezeichnet) geprüft werden und erleichterte die nachfolgenden Messungen. Jeder der Messkondensatoren bestand aus zwei Messingplatten von je 15 $\times$ 6 cm, zwischen welchen eine Glasplatte von 4 mm Dicke verschiebbar war. Bei der grossen Empfindlichkeit der Methode dürfte es jedoch empfehlenswerter sein, längere und dafür weniger hohe Kondensatoren oder weitere Abstände und dickere Glasplatten zu benutzen. Ein Überspringen von Funken ist bei dem Plattenabstande ausgeschlossen. Zu c_2 und c_4 parallel wird bei Messung der Dielektricitätskonstante der vernickelte Nernstsche Trog geschaltet. Zwischen J_1 und J_2 liegt ein Solenoid von 40 Windungen, das in Dimensionen und Selbstinduktion genau gleich L_2 war. Die Selbstinduktion von L_2 und von L_3 beträgt angenähert 5.10^4 cm. Der Indikatorkreis besitzt J_1 und J_2 zu Anschlagsstellen. Die Kraftkoppelung ist gewählt, um ihn mit möglichst viel Energie zu speisen. Bei elektromagnetischer Übertragung — ich benutzte als Sekundärspule zu L_3 ein Solenoid von ebenfalls 40 Windungen — war die Empfindlichkeit eine geringere. Die Spule L_3 schliesst im ersteren Falle den Indikatorkreis (III), welcher aus einem Element E, dem beschriebenen Kohärer K und dem Spiegelgalvanometer G gebildet ist. Sämtliche Teile dieses Kreises sind hinter einander geschaltet.

Mit dieser Anordnung wurden gleich bei den ersten Versuchen sehr befriedigende Ergebnisse erzielt. Vor allem war durch richtige Einstellung der Messapparate eine Rückkehr zum Nullpunkt möglich Das Verschwinden der Schwingungen in der Brücke ist von vollkommener Galvanometerruhe begleitet. Das beschriebene Verfahren ist also eine sehr gut ausgeprägte Nullpunktmethode. Dann aber zeichnet sich die Anordnung durch hohe Empfindlichkeit aus. Bei Verwendung eines Leclanché-Elements im Indikatorkreise und einer sehr kleinen Funkenstrecke F liess sich folgende, „Empfindlichkeitskurve" ziechnen (Fig. 4). Die Abcissen geben die Verschiebung des einen Messkondensators in Millimetern an, während der andere unverändert blieb. Die Ordinaten bezeichnen die Stellung des Fadenkreuzes des Fernrohres auf der Skala. Die Einstellung und weitere Verschiebung ist in Richtung des Pfeiles erfolgt. Nach dem Überschreiten des Nullpunktes (80) nimmt die Kohärenz nicht in dem Masse zu, wie sie vorher abgenommen hat. Für genaue Messung ist es daher notwendig, von beiden Seiten her den Nullpunkt festzustellen. Der Nullpunkt aber, welcher im Diagramm bei 80 der Skala liegt, wird stets erreicht.

Nachdem sich die beschriebene Versuchsanordnung als eine solche von aussergewöhnlicher Empfindlichkeit erwiesen hatte, wurde untersucht, welche Umstände für die Empfindlichkeit besonders massgebend sind. Die Spule L_3 der Spule L_2 genau gleich zu machen, war insofern der nächstliegende Gedanke, als damit das Brückenparallelogramm mit den 4 Kondensatoren als Seiten und den 2 Spulen als Diagonalen eine vollkommen gleichmässige Ausgestaltung erfährt. Man könnte aber die Frage aufwerfen, ob nicht die

Wahl einer grössern Selbstinduktion für die Spule L_3 insofern zweckmässiger wäre, als der Ausgleich der wechselnden Spannungen zwischen J_1 und J_2 dadurch in höherem Masse verhindert und somit die Empfindlichkeit des Kohärers gesteigert werde. Zur Prüfung der Frage nach der zweckmässigsten Windungszahl der Spule L_3 wurden Spulen von 10—150 Windungen, auf Glasröhren gewickelt, einzeln zwischen die Punkte J_1 und J_2 geschaltet und das Verhalten des Kohärers beim Verschieben der Platte des einen Messkondensators beobachtet. Die Versuche wurden zunächst angestellt mit

$$C_0' = 2000 \text{ cm}, \; c_1 = c_3 = 75 \text{ cm}, \; c_2 = c_4 = 50—100 \text{ cm}$$
$$\text{und } L_2 = 5.10_4 \text{ (40 Windungen).}$$

Sie ergaben in unzweifelhafter Weise, dass die Empfindlichkeit am grössten war, wenn auch die Spule L_3 40 Windungen hatte. Ich gebe zum Beweise eine Beobachtungsreihe, bei der die Funkenstrecke nicht völlig auf das Maximum der Empfindlichkeit eingestellt war, sodass für die am besten wirkende Spule noch gewisse, wenn auch eng aneinander liegende Grenzen des toten Bereiches gefunden werden konnten, innerhalb dessen das Galvanometer gänzlich in Ruhe blieb. Die Grenzen des toten Bereiches sind in der folgenden Tabelle für die verschiedenen Spulen bezeichnet. Die Beobachtungen führten auf die Notwendigkeit, die Messungen unter Vertauschung der von den Punkten J_1 und J_2 nach dem Kohärer gehenden Verbindungen auszuführen. Die 2. und 4. Spalte der Tabelle enthalten für die eine und die andere Schaltung die Grenzen des toten Bereiches nach der mm-Skala der Glasplatte des einen Messkondensators, die 3. und 5. geben die Mittelpunkte des toten Bereiches für beide Fälle an, und die 6. die mittlere Grösse des toten Bereiches.

Tabelle 1.

L_3 Wind	gewöhnliche Schaltung $J_1 \rightarrow J_2$ mm	Mittelpunkt mm	Umschaltung $J_2 \rightarrow J_1$ mm	Mittelpunkt mm	Toter Bereich mm
10	56— 82	69	75—103	89	27
20	75— 81	78	80— 86	83	6
40	79— 80	79,5	79— 80	79,5	1
60	76— 97	86,5	66— 90	78	22,5
80	76—104	90	64— 84	74	24
100	75 - 106	90,5	55— 87	71	31,5
120	75—110	92,5	54— 86	70	33,5

Spalte 6 zeigt deutlich, dass die Spule mit 40 Windungen den kleinsten toten Bereich besitzt, also für die Messungen die empfindlichste ist. Die anderen Spalten aber lassen zugleich einen eigentümlichen Einfluss der Anschaltung des Kohärerkreises an die Spule L_3 erkennen.

In Bezug auf den Mittelpunkt des toten Bereiches, welcher zu $L_3 = 40$ gehört, und welchen ich ausschliesslich als Nullpunkt der Einstellung bezeichnen will, liegen die Mittelpunkte für die kleineren Spulen unterhalb, für die grösseren aber oberhalb des Nullpunktes. Bei Vertauschung der zum Kohärer führenden Drähte wurde die Schaltung $J_1 \rightarrow J_2$ in die Schaltung $J_2 \rightarrow J_1$ verwandelt. Hierbei kehren sich die Verhältnisse um, indem die grösseren Spulen einen Mittelpunkt ergeben, der unterhalb von 79,5 mm liegt, während die kleineren Spulen höhere Werte ergeben. Bei der Spule von 40 Windungen wurde durch die Umschaltung keine Wanderung des Mittelpunktes oder Nullpunktes beobachtet. Trotz der grössten Symmetrie im Brückenparallelogramm konnten die Abweichungen der Mittelpunkte vom Nullpunkte nicht aufgehoben werden. Diese Eigentümlichkeiten sind

nicht durch die Richtung der elektromotorischen Kraft des Elementes im Kohärerkreise bedingt, wie man denken könnte. Wurde das Element umgeschaltet, so änderte sich nichts. Das beschriebene Verhalten ist vielmehr ausschliesslich durch die Unsymmetrie des Kohärerkreises bedingt. Die drei Teile, Element, Galvanometer und Kohärer waren natürlich zunächst einfach hintereinander geschaltet. Stand dabei das Element in der Nähe der Brückenanordnung, so war die Unsymmetrie sehr gross. Sie wurde kleiner, wenn das Element neben das 5 m entfernte Galvanometer gestellt wurde. Schliesslich wurden das Element und der Kohärer zwischen die beiden Galvanometerspulen geschaltet, sodass im Galvanometerkreise L_3, Galvanometerspule I, Kohärer, Element und Galvanometerspule II hintereinander verbunden waren. Die Abweichungen aber, obwohl sie sich verminderten, blieben bestehen. Mit dieser Anordnung stellte ich folgende Tabelle fest.

Tabelle 2.

L_2 40 W., $C_0 = 2000$, $c_1 = c_3 = 75$ cm, $c_2 = c_4 = 50-100$ cm

L_3 Wind	gewöhnliche Schaltung $J_1 \rightarrow J_2$ mm	Mittelpunkt mm	Umschaltung $J_2 \rightarrow J_1$ mm	Mittelpunkt mm	toter Bereich mm
10	63 —80	71,5	80 — 94	87	15,5
20	77 —79	78	79 —82	80,5	2,5
40	78 —80	79	80 — 78	79	2
60	76 —83	79,5	82 —75	78,5	7
80	74,5 —83,5	79,5	73,5 — 82,5	78	9
100	75 —86	80	71 —84	77,5	11,5
120	74 — 86	80	71 — 84	77,5	12;5
150	74 —86	80	70,5 —85	77,5	13

Um die noch bestehende Unsymmetrie zu beseitigen, wurden im Indikatorkreise unsymmetrisch zu den Galvano-

meterspulen andere Spulen angebracht. Die erhoffte Wirkung blieb jedoch aus. Sie steigerten meistens nur die Empfindlichkeit, indem sie den toten Bereich verkleinerten oder sogar gänzlich aufhoben. Statt einer Nulleinstellung war alsdann nur eine Minimumeinstellung vorhanden, die aber durch Unruhe der Nadel für weitere Verwendung ungeeignet erschien. Eine Verkleinerung der Funkenstrecke F stellte jedoch die Nulleinstellung wieder her.

Die völlige Klarlegung dieser Verhältnisse würde eine weiter gehende, specielle Untersuchung erfordern, von der ich in dem vorliegenden Zusammenhange um so eher glaube absehen zu können, als für die folgenden Anwendungen immer die empfindlichste Spule benutzt wurde, für die die Einstellung von dem geschilderten Einflusse unabhängig ist.

Nachdem festgestellt war, dass zu $L_2 = 40$ W. $L_3 = 40$ W. als empfindlichste Spule gehörte, wurde L_2 geändert. Es wurde eine Spule von 150 Windungen genommen und folgender Umfang des toten Bereiches festgestellt.

Tabelle 3.

$c_1 = c_3 = 75$ cm, $c_2 = c_4 = 50$—100 cm.

L_3 Wind	toter Bereich in mm	Bemerkungen
10	—	keine Wirkung erkennbar
20	65	Ausschläge sind unruhig
40	17	
60	17	Funkenstrecke wurde verkleinert, Ausschläge danach ruhiger
80	22	Funkenstrecke wurde noch verkleinert
100	18	
120	10	
150	4	

Die Versuche zeigen, dass zu $L_2 = 150$ $L_3 = 150$ Windungen als empfindlichste Spule gehört.

Danach wurden im Parallelogramm c_1 und c_3 geändert, indem für jede Kapazität eine solche von 250 cm genommen wurde. L_2 besass 40 Windungen. Diese Abänderung ergab folgende Beobachtungsreihe:

Tabelle 4.

L_3 Wind.	toter Bereich	Bemerkungen
150	44 mm	Funken gross
120	35 „	
100	29 „	
80	13 „	
60	20 „	Funkenstrecke wurde verkleinert, um schwächere elektrische Schwingungen zu erhalten
40	30 „	Funkenstrecke wurde weiter verkleinert
30	25 „	
20	5 „	
10	30 „	

Sie zeigt, dass für diese Grösse der Zweigkapazitäten c_1 und c_3 die Spule $L_3 = 20$ Windungen die grösste Empfindlichkeit besitzt.

Nachdem in dieser Weise die Empfindlichkeit für verschiedene Verhältnisse im Parallelogramm untersucht war, wurde endlich auch der Schwingungskreis I geändert, indem die Kapazität $C_0 = 2000$ cm durch eine von 500 cm ersetzt wurde. Im Parallelogramm wurde an der als endgültig festgestellten Anordnung nichts geändert. Es war demnach $L_2 = 40$ W., $c_1 = c_3 = 75$ cm, $c_2 = c_4 = 50$—100 cm. Bei

Prüfung der verschiedenen Spulen L_3 blieb die Spule mit 40 Windungen die empfindlichste. Die vorgenommene Änderung hatte im allgemeinen nur die Empfindlichkeit für sämtliche Spulen verringert. (Tabelle 5, erste Versuchsreihe, vergl. Tabelle 2).

Ebenso wiederholten sich die früher gefundenen Verhältnisse, als ich die Selbstinduktion L_2 änderte und eine Spule von 120 Windungen benutzte. Es waren also bei der zweiten Versuchsreihe: $C_0 = 500$ cm, $c_1 = c_3 = 75$ cm, $c_2 = c_4 = 50 - 100$ cm, $L_2 = 120$.

Tabelle 5.

L_3 Wind.	toter Bereich $C_0 = 500$ cm, $L_2 = 40$ W.	toter Bereich $C_0 = 500$ cm, $L_2 = 120$ W.
10	30 mm	100 mm
20	8 „	90 „
40	4 „	50 „
60	10 „	5 „
100	18 „	3 „
120	24 „	2 „

Die Beobachtungen zeigen, dass zu L_2 eine gleiche Spule für L_3 zu benutzen ist, wenn man die grösste Empfindlichkeit erreichen will.

Es möge endlich noch folgender Versuch erwähnt werden. Als ich wieder die ursprüngliche Versuchsanordnung nahm und die Empfindlichkeit durch sorgfältige Einstellung auf das höchste Mass steigerte und alsdann nur die Spule L_3 zu einer Drahtschleife auseinanderzerrte, schwand die Empfindlichkeit sehr erheblich.

Sämtliche Versuche zeigen, dass die Empfindlichkeit wesentlich durch eine passende Wahl der elektrischen Dimen-

sionen des Brückenparallelogramms bedingt ist. Am empfindlichsten ist die Kombination mit 4 gleichen Kapazitäten und 2 gleichen Selbstinduktionen. Die Dimension des Systems I dagegen hat wohl auf die Empfindlichkeit im allgemeinen einen Einfluss, aber nicht auf die Beziehungen der Teile des Parallelogramms zu einander. Diese Beziehungen haben offenbar den Charakter einer Art von Abstimmung der Teile auf einander. Eine solche Resonanzwirkung ist vielleicht in der Weise zu denken, dass bei der kreuzweisen Verbindung der Spulen mit den vier Kapazitäten die Spule L_3 mit diesen Kapazitäten ebenso ein schwingendes System bildet wie die Spule L_2.

Ich bemerke dazu, dass bereits Nernst[1]) für seine Versuchsanordnung die Verstärkung durch elektrische Resonanz zu verwenden gesucht hat. Doch muss er bekennen, dass der Gewinn in keinem Verhältnis zu der damit verbundenen Komplikation steht. Anfänglich hatte ich diese Versuche nach der von Nernst erwähnten Richtung wiederholt, indem ich hoffte, die Genauigkeit der Messungen durch Resonanz erhöhen zu können. Ich suchte die drei Schwingungskreise in der Nernstschen Anordnung mit dem Funkenindikator, nämlich den Generator, das Parallelogramm und den Brückenkreis auf einander abzustimmen, indem ich ihre Schwingungskapazitäten, also das Produkt aus $L.C$ gleich gross machte. Die Erscheinungen der Resonanz traten deutlich auf. Ich musste aber schnell erkennen, dass bei der Variabilität der Brückenzweige während der Einstellungen das Resonanzprinzip seine volle Verwertung nicht finden kann.

1) Nernst, Annalen der Physik und Chemie Bd. 60, S. 620. 1897.

Für meine Brückenkombination liegen die Verhältnisse wesentlich anders, indem zwei, zum Teil in einandersteckende Schwingungskreise auftreten. Hinsichtlich der vier Zweigkapazitäten kommen je zwei, je nachdem sie in Serie oder parallel geschaltet sind, verschieden für die Gesamtkapazität der Systeme in Rechnung. Nennen wir die Gesamtkapazität des einen Kreises C_{I}, die des andern C_{II}, so sind die Schwingungskapazitäten der Systeme $L_2 . C_{\mathrm{I}}$ und $L_3 . C_{\mathrm{II}}$. Unter Benutzung der Formel

$$\frac{1}{C_{\mathrm{I}}} = \frac{1}{c_1 + c_3} + \frac{1}{c_2 + c_4}$$

ist in meiner Anordnung $\frac{1}{C_{\mathrm{I}}}$ veränderlich zwischen

$$\frac{1}{C_{\mathrm{I}}'} = \frac{1}{75 + 75} + \frac{1}{50 + 50} = \frac{1}{60}$$

und

$$\frac{1}{C_{\mathrm{I}}''} = \frac{1}{75 + 75} + \frac{1}{100 + 100} = \frac{1}{85{,}7 \ldots}$$

Für $\frac{1}{C_{\mathrm{II}}}$ sind die Grenzen

$$\frac{1}{C_{\mathrm{II}}'} = \frac{1}{75 + 50} + \frac{1}{75 + 50} = \frac{1}{62{,}5}$$

und

$$\frac{1}{C_{\mathrm{II}}''} = \frac{1}{75 + 100} + \frac{1}{75 + 100} = \frac{1}{87{,}5}$$

C_{I} und C_{II} bewegen sich also gleichsinnig und fast genau innerhalb von 61—86. Auf Gleichheit der Selbstinduktionen L_2 und L_3 ist mehrmals hingewiesen. Mithin sind die Schwingungskapazitäten der beiden Parallelogrammsysteme trotz der stetigen Veränderung des einen Messkondensators bei der Einstellung — wenn auch nicht vollkommen — so

doch äusserst angenähert gleich. Der Fall, in welchem für L_2 statt 40 Windungen 150 genommen und für L_3 eine Spule von ebenfalls 150 Windungen gefunden ist, erledigt sich ganz dementsprechend. Etwas anders liegt der Fall, den Tabelle 4 wiedergibt. Hier besassen c_1 und c_3 je 250 cm Kapazität, c_2 und c_4 aber durchschnittlich je 75 cm.

Es ist demnach

$$\frac{1}{C_{I}} = \frac{1}{250+250} + \frac{1}{75+75} = \frac{1}{115,4}$$

und

$$\frac{1}{C_{II}} = \frac{1}{250+75} + \frac{1}{250+75} = \frac{1}{162,5}$$

C_{II} ist also grösser als C_I. Mithin muss L_3 kleiner als L_2 sein, damit die für die Resonanz beider Systeme bestehende Bedingung erfüllt ist, die in diesem Falle lautet

$$C_{I}.L_2 = C_{II}.L_3$$

Nach den Versuchen der Tabelle 4 ist auch tatsächlich eine kleinere Selbstinduktion ($L_3 = 20$) als $L_2 = 40$ als die geeignetste für die bestehende Anordnung festgestellt. Doch ist im letzteren Falle die Empfindlichkeit kleiner als im ersteren, entsprechend der Ungleichheit der Brückenzweige. Die Anordnung mit gleichen Kapazitäten, wie sie in meiner endgültigen Methode verwandt ist, ist also naturgemäss die beste. Dabei hat aber die beschriebene Kombination noch den Vorteil, dass die Gesamtkapazitäten C_I und C_{II} mit der veränderlichen Einstellung der Messkondensatoren sehr wenig veränderlich sind. Ausser dieser Resonanzwirkung innerhalb des Brückenparallelogramms sind übrigens auch das Parallelogramm und System I annähernd aufeinander abgestimmt (ca. 4 Mill. Schwingungen). Ferner dürfte für die Empfindlichkeit

von Wichtigkeit sein, dass der Generator eine hohe Kapazität besitzt, sodass viel Energie auf die Brückenkombination übertragen werden kann. Verkleinerung von C_0 (Tabelle 5 $C_0 = 500$ cm) verringerte, wie bereits erwähnt, die Empfindlichkeit

In der beschriebenen Brückenkombination wurde ausser dem Kohärer auch der Schlömilchsche[1]) Wellendetektor versuchsweise angewandt. Die Platinelektrode, der negative Pol, war mit dem negativen Pol eines Akkumulators verbunden. Der positive Pol war an die Anode des Polarisationselementes angeschlossen. Diese bestand aus einer Glasröhre, an derem Ende ein 0,02 mm starker Platindraht so eingeschmolzen war, dass nur seine Spitze aussen sichtbar war. Der Wellendetektor liess jedoch nur eine Minimummethode zu, indem der Galvanometerausschlag durch Verschieben der Messapparate nie zum Verchwinden gebracht werden konnte. Obgleich das Ansteigen und Abnehmen desselben bei gleichmässigem Verstellen der Kondensatoren ein verhältnismässig ruhiges war, so nahm doch die Einstellung auf das Minimum längere Zeit in Anspruch, weil nach jeder Verschiebung des Messkondensators 1—2 Min. verstrichen, ehe sich das Galvanometer dementsprechend eingestellt hatte. Besonders war die Widerstandserhöhung nicht schnell zu erlangen. Etwas Ähnliches bemerkte ich auch bei dem Kohärer von Castelli, wo trotz des reinen Quecksilbers die Oberflächenspannung des Tropfens zu gering war, den bestehenden Kontakt sicher und schnell aufzuheben, eine Eigenschaft, die ihn für meine Messzwecke ungeeignet erscheinen liess. Nach diesen Erfahrungen

1) Schlömilch, Elektrotechnische Zeitschrift 1903, Heft 3.

möchte ich der von mir beschriebenen Fritterform den Vorzug vor dem Schlömilchschen Wellendetektor geben, obwohl der letztere wesentlich einfacher in seiner Herstellung und Anwendung ist.

Statt des Galvanometers kann natürlich auch ein Telephon in Verbindung mit dem Kohärer benutzt werden. Wenn es direkt an Stelle des Galvanometers gesetzt wird, bemerkt man ein stets gleichbleibendes, leises Geräusch und ein allzu scharfes, durch Verschieben der Messkondensatoren veränderliches Knacken. Wurde das Galvanometer im Kreise belassen und das Telephon dahinter geschaltet, so war das zu beobachtende Geräusch im Telephon für das Ohr bei weitem angenehmer und für Messungen geeigneter, was wohl dem Einfluss der Galvanometerspulen auf die den Kohärer treffenden Wellen zuzuschreiben ist. Eine brauchbare Anorduung war es auch, das Telephon parallel zum Kohärer zu schalten und damit ausschliesslich zu beobachten. Die Versuche liessen ein Minimum erkennen, ja es konnte durch richtige Einstellung der Funkenstrecke zum Schweigen gebracht werden. Diese Versuche gelangen auch, ohne dass J_1 mit J_2 durch die Spule L_3 verbunden war. Doch war der Ton in diesem Falle viel schwächer.

Schliesslich gestaltete ich den Indikatorkreis so um, wie ihn Nernst in seiner letzten bereits erwähnten Arbeit angiebt. Jedoch behielt ich meine Brückenkombination mit ihren Dimensionen bei und verzichtete ausserdem auf die im Generator befindlichen elektrischen Filtriersysteme. Den benutzten Indikatorkreis veranschaulicht die Skizze 5. J_1 und J_2 sind die Anschlagsstellen, L_3 die schon öfter erwähnte Spule von 40 Windungen, C_i eine Kapazität von 80 cm,

D der Detektor, E ein Akkumulator und T ein Telephon. Die Schaltung ergiebt sich aus der Zeichnung und zeigt Ähnlichkeit mit der von mir zuerst benutzten. Auch diesmal war die Wirkung der Spule L_3 in einer Verstärkung des Tones deutlich zu erkennen.

Der Beschreibung meiner Methode füge ich zur Vermeidung von Fehlerquellen noch eine kurze Gebrauchsanweisung bei. Die richtige Einstellung der Mikrometerfunkenstrecke beeinflusst im hohen Masse die Empfindlichkeit. Je nach der erwünschten Genauigkeit vergrössert oder verkleinert man sie. Bei kleinerem Abstande sind die Galvanometerausschläge weniger gross. Manchmal erschwert das Hin- und Herschwanken der Nadel die Einstellung. Dann existieren aber irgendwo Fehlerquellen. Vor allem ist beim Beginn des Versuches durch einen verschiebbaren Widerstand dafür zu sorgen, dass der Wehneltunterbrecher regelmässig funktioniert, was am Geräusch leicht bemerkbar ist. Anderweitige Entnahme von Elektricität aus derselben Akkumulatorenbatterie war, besonders wenn Projektionslampen oder Induktorien eingeschaltet wurden, oft recht störend. Die Platinspitze, der positive Pol im Wehneltunterbrecher, nutzt sich schnell ab und verursacht dann unregelmässige Funkenbildung. Ausserdem ist dafür zu sorgen, dass der Unterbrecher stets gekühlt wird. Zu diesem Zwecke kann man statt der üblichen Bleiplatte eine mehrfach gewundene Röhre aus gleichem Material benutzen, die mit der Wasserleitung kommuniziert. Unter Hinweis auf die von Nernst für seine Methode gegebenen Vorschriften hebe ich folgendes besonders hervor. In den Drahtleitungen sind gute Kontakte notwendig. In einem besonderen Falle, wo ein Schaltungsdraht die Oxyd-

schicht des Quecksilberkontaktes nicht durchbrochen hatte, stellte ich eine 14 mm grosse fehlerhafte Kondensatorverschiebung fest. Die Ausbildung kleiner Funkenstrecken in den verschiedenen Brückenzweigen und Leitungen kann sehr störend sein. Homogene Wellenbildung, eine wesentliche Voraussetzung für das Gelingen der Versuche, wird dadurch verhindert. Aus diesem Grunde muss auch die Zuführung zu den Kondensatorbelägen eine sichere sein. Ich benutzte hierzu gut gereinigte dünne Kupferblättchen, die durch aufgekittete Glasscheiben fest an das desoxydierte Stanniol gedrückt wurden. Dadurch wurde zugleich Bildung bauschiger Stellen der Belegung und damit Inkonstanz der Kapazität verhindert. Ein Beschlagen durch Luftfeuchtigkeit war damit gleichfalls ausgeschlossen. Die Zweige des Parallelogramms und die Brücke mit dem Kohärer sind möglichst symmetrisch aufzustellen. Die beweglichen, sowie die unsymmetrisch liegenden Teile sind mindestens 15 cm von einander entfernt zu halten. Bei Änderung der Konfiguration während des Versuches entstehen ebenfalls Fehler, selbst Änderung der eigenen Stellung ist zu vermeiden. Die von Mechanikern so oft beliebte spiralförmige Aufwickelung der Drähte vor der Befestigung in einer Klemmschraube ist, da sie als Solenoid wirkt, zu beseitigen. Im Brückensystem sind möglichst nur Quecksilberkontakte zu benutzen. Um jede Erdleitung auszuschliessen, stand das ganze Parallelogramm auf einer Glasscheibe.

3. Anwendung zur Bestimmung von Dielektricitätskonstanten.

Um die beschriebene Methode zu prüfen, wurden bereits bekannte Stoffe in Bezug auf ihre Dielektricitätskonstante unter-

sucht. Das Verfahren zur Messung von Flüssigkeiten ist ebenso wie bei Nernst. Zu c_2 oder c_4 parallel wurde der dielektrische Nickeltrog geschaltet. Er stand bei mir auf einem Paraffinklotz über den Messkondensatoren, aber symmetrisch zu ihnen. Durch eine kleine Verlegung des Schaltungsdrahtes konnte der Trog, ohne dass er selbst im geringsten verschoben wurde, durch Quecksilberkontakt angeschlossen werden. Ich benutzte den von Nernst beschriebenen kleinen Nickeltrog, dessen Scheibenelektrode wegen der zu messenden hohen Dielektricitätskonstanten durch eine kleinere ersetzt war.

Die Fehlerquellen, welche beim Trog auftreten können, sind von Turner genau geprüft. Bei der Bedeutung derselben für Kraftlinienverlauf, Reinheit der zu messenden Substanz u. s. w. halte ich es bei den von mir getroffenen Abänderungen für notwendig, hierauf näher einzugehen. Eine Hauptschwierigkeit der Messung liegt darin, die Scheibenlage im Nickeltroge ein für allemal konstant zu halten. Zu diesem Zwecke ist kein angekittetes Glasstückchen zur Distanzabmessung benutzt, weil ein Aufquellen oder Zusammenschrumpfen des Kittes zu befürchten ist. Grosse Sorgfalt wurde auf den Deckeleinsatz verwandt. Turners Form verlangt einen geschickten Glasbläser und ist trotzdem wegen des seitlich angekitteten, äusserst elastischen Korkes unzuverlässig. Bei mir wurden, um Bindemittel wie Leim u. s. w. zu vermeiden, zwei starke Glasscheiben und eine dicke Hartgummiplatte durch kleine Schrauben fest zusammengefügt. Eine seitliche Verschiebung des Deckels in der Öffnung war unmöglich, da die unten drehrunde Glasscheibe genau in den Trog einzusetzen war. Da der Stift der Elektrodenscheibe durch drei starke Platten hindurchgeht, so war ein Verschieben in der Längsrichtung

nach Regulierung der Distanz infolge der grossen Reibungsfläche so leicht nicht möglich. Ausserdem waren Marken angebracht, sodass das Einsetzen des Deckels stets in gleicher Weise erfolgen konnte. Die Verwendung von Glas an den der Benetzung ausgesetzten Flächen, die Festigkeit des Materials im Gegensatz zu Kork und Hartgummi, die Vermeidung sich zersetzender und aufquellender Stoffe und die sorgfältige Ausführung muss jede fehlerhafte Kapazitätsänderung ausschliessen. Eine Öffnung im Deckel diente zum Eingiessen der Flüssigkeiten und zur Einführung eines Thermometers. Die Ausführung und die Dimensionen des Troges zeigt Figur 7. Zur näheren Veranschaulichung sind Kraftlinien und Flüssigkeitsniveau eingezeichnet.

Die zweite Schwierigkeit besteht in der stets gleichmässigen und richtigen Füllung des Troges. Die Frage der richtigen Füllhöhe ist von Nernst und Turner ausführlich erörtert worden. Nach ihnen soll der Trog bis zu derjenigen Höhe gefüllt sein, in der die Kraftlinien genau horizontal verlaufen, damit durch die Füllung keine Änderung der Konfiguration des Feldes hervorgerufen wird. Dieses günstigste Niveau liegt nach Turner in $^2/_3$ bis $^3/_4$ Höhe. Ich habe versucht, es für meine Zwecke in der Weise durch Ausprobieren zu bestimmen, dass ich Messungen mit gut gereinigtem, mehrmals destilliertem Wasser unter verschieden hoher Füllung des Troges ausführte. Durch Vergleich mit Anilin wurde diejenige Höhe der Füllung festgestellt, bei der die Messung für Wasser den gleichen Wert ergab, den Turner für reines Wasser gefunden hatte: 81,07. Bis zu der ermittelten Höhe wurde dann der Trog in allen weiteren Messungen stets gefüllt. Als Aichflüssigkeit benutzte ich in allen Fällen Anilin,

für dessen Dielektricitätskonstante ich den Wert 7,29 einsetzte. Ich nahm diesen Wert von Turner, weil er für das Kahlbaumsche Präparat festgestellt war und meine zu prüfenden Flüssigkeiten aus derselben Quelle bezogen waren.

Die Kalibrierung der Messkondensatoren wurde auf die von Nernst angegebene Weise ausgeführt. Hierbei stellte sich heraus, dass der Apparat eine ähnliche Korrektionskurve aufwies, wie sie seiner Zeit Turner, Harms und Philips beobachtet haben. Bei Turner waren die Korrektionen der Glasplatte folgende:

0 cm	20	40	60	80	100	120	140	160	180
−1,25 mm	−0,8	0	+0,8	1,15	1,1	0,65	0	−0,6	−1,0

Ich hatte folgende Korrektionen anzubringen:

I. Kondensator

0 cm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
−0,4 mm	+0,1	+0,6	+1,0	+0,8	+0,6	+0,5	0,0	−0,5	−0,9	−1,0	−1,1

II. Kondensator

10 cm	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
−1,1 mm	−0,7	−0,2	+0,2	+0,6	+0,8	+1,0	+0,7	+0,3	−0,1	−0,7	−1,4

In der Mitte besitzen die Kurven also ein konvexes Gebiet. Die hierzu gehörigen Verschiebungen der Messkondensatoren beim Einschalten der konstanten Trogkapazität sind demnach kleiner als an beiden Enden, wo ein Ebonitrand oder die Öffnung für die Glasplatte sich befinden. Die Verschiedenheit an den Rändern im Gegensatze zum Innern lässt sich durch den Verlauf der Kraftlinien erklären. Doch ist wegen der Verzerrung, welche die Kraftlinien durch die Glasplatte in der Nähe des Randes erfahren, die theoretische Berechnung der Korrektion schwer durchzuführen.

Messung der Dielektricitätskonstante des Wassers.

Zuerst wandte ich gewöhnlich destilliertes Wasser an. Während beim Telephon die Schärfe des Minimums in erster Linie von dem Grade der Leitfähigkeit abhängt und ein Widerstandskompensator unumgänglich notwendig ist, ist mit meinem Verfahren der Nullpunkt der Einstellung ohne Benutzung von Widerstandsgefässen genau zu finden. Hierin besteht ein Vorteil, auch gegenüber der kürzlich veröffentlichten Methode von Nernst. Die Kondensatorausschläge, welche der mit Wasser gefüllte Trog verursachte, sind folgende, die in 10 Messungen festgestellt sind. Sie zeigen zugleich, mit welchem Grade der Genauigkeit die Einstellung erfolgen kann.

	116,4
	116,2
	116,3
	116,3
	116,4
	116,4
	116,2
	116,2
	116,3
	116,3
Mittel:	116,3

Nach Berücksichtigung einer Korrektion von —1,1 mm wird also eine Kondensatorverschiebung von 115,2 mm gefunden. Die Berechnung von D erfolgte nach der bekannten Formel[1])

$$D = (D_0 - 1)\frac{S - s}{s_0 - s} + 1$$

Darin bedeuten D_0 die Dielektricitätskonstante der Aich-

1) Wiedemann und Ebert, physikal. Praktikum, S. 482.

flüssigkeit, s die Verschiebung, durch den leeren Trog verursacht, s_0 die Verschiebung infolge des mit der Aichflüssigkeit gefüllten Troges und S diejenige, welche die zu untersuchende Substanz veranlasst. Nach Einsetzung der Werte

$$D_0 = 7{,}29, \quad S = 115{,}2, \; s = 8{,}61, \quad s_0 = 16{,}7$$

in die Formel fand ich als Dielektricitätskonstante des Wassers

81,22 bei 18°.

Aceton aus der Bisulfitverbindung.

Die Einzelwerte der durch den gefüllten Trog verursachten Kondensatorverschiebung waren:

34,4	mm
34,2	„
34,2	„
34,4	„
34,4	„
34,2	„
34,3	„
34,3	„
34,4	„
34,5	„

S = Mittel 34,32 mm, nach Korrektion 35,22 mm.
Die durch Messungen mit Wasser festgestellte Marke des Flüssigkeitsniveaus war hierbei streng beobachtet.

Die Berechnung lieferte für D 21,69 bei 22° oder

$$21{,}69\,(1 - 0{,}006\,(22^\circ - 17^\circ)) = 21{,}04 \text{ bei } 17^\circ.$$

Abegg und Drude fanden für D:

Wellenlänge	Temp.	D
∞	20°	ca. 25
$3 \cdot 10^4$	15°	21,8
75 cm	17°	20,7

Orthonitrotoluol.

Die Ausschläge infolge der Kapazität des Troges mit o-Nitrotoluol waren bei 10 Ablesungen folgende:

42,2	mm
42,3	„
42,2	„
42,2	„
42,2	„
42,3	„
42,4	„
42,2	„
42,2	„
42,3	„
S = Mittel 42,25	mm.

Nach der Korrektionskurve war eine Berichtigung von + 0,8 mm anzubringen. Die für die Formel endgültig in Anrechnung zu bringende Verschiebung S war demnach 43,05. Nach Einsetzung der Grössen in die Formel erhält man $D = 27{,}81$ bei 19°. Bei Berücksichtigung des nicht unbeträchtlichen Temperaturkoeffizienten — 0,0065 findet man für 18° $D = 27{,}81\,(1 - 0{,}006\,(19^0 - 18^0)) = 27{,}64$.

Turner fand $\begin{matrix} 27{,}67 \pm 0{,}043 \\ 27{,}71 \pm 0{,}05 \end{matrix}$ bei 18°.

Die Prüfung meiner Zahlen zeigt, dass sich die einzelnen Einstellungen um höchstens 0,2 mm unterscheiden, dass also ähnliche Verhältnisse bestehen, wie sie Tangl für die Nernstsche Telephonmethode angibt. Wenn man aber bedenkt, dass die 1 mm entsprechende Kapazitätsänderung der bei der Telephonmethode gewöhnlich benutzten Kondensatoren (1 mm ca. 2,7 cm) eine erheblich grössere ist als bei mir (1 mm ca. 0,27 cm Kapazitätsänderung), so kann man wohl behaupten

dass die erreichbare Genauigkeit eine höhere ist. Ausserdem aber ist die Grenze der Leitfähigkeit, für welche eine Kompensation noch nicht nötig ist, durch mein Verfahren weiter hinausgeschoben. Es war mir sogar möglich, bei einer Mischung von gewöhnlich destilliertem Wasser (Leitfähigkeit 1.10^{-9}) und 5% Leitungswasser (Leitfähigkeit etwa 50.10^{-9}) noch Einstellungen ohne Anbringung von Widerstandskompensation zu erhalten. Doch musste ich mich hier mit einem Minimum, welches aber gut ausgeprägt war, begnügen. Bei Flüssigkeiten von erheblich grösserem Leitvermögen ist es natürlich auch hier notwendig, einen Kompensationswiderstand parallel zum andern Messkondensator zu legen. Eine einwandsfreie Form desselben beschreibt Turner in seiner Dissertation, ich beschränke mich daher auf den Hinweis. Um sichere Einstellungen für Mischungen von gewöhnlich destilliertem und Leitungswasser zu erlangen, glich ich Trog- und Kompensationswiderstand durch einen Nebenversuch mit der Kohlrauschschen Telephonmethode auf einander ab und schaltete sie darauf den beiden Messkondensatoren parallel. Die Versuche zeigten, dass es auch bei meiner Versuchsanordnung prinzipiell sicher ist, relativ gut leitende Dielectrika auf ihre D hin zu untersuchen. So stellte ich für das hiesige Leitungswasser $D = 84,3$ fest. Dieser in Bezug auf destilliertes Wasser höhere Wert beruht wohl nicht auf der höheren Leitfähigkeit, sondern auf den im Wasser gelösten Substanzen. Durch die Flüssigkeitswiderstände werden jedoch die elektrischen Schwingungen im hohen Grade absorbiert, sodass es zur Erhöhung der Empfindlichkeit notwendig ist, durch geeignete Regulierung der Funkenstrecke kräftigere Schwingungen zu erzeugen. Bei zunehmender Leitfähigkeit, also bei kleinerem Trogwiderstande, trat eine

Verschiebung der Nullpunktseinstellung auf, die nach Nernst auf die Selbstinduktion der Zuleitungsdrähte zurückzuführen ist. Bei einem Trogwiderstande von 100 Ohm waren die Fehlerquellen schon beträchtliche. Auch musste ich in diesem Falle eine Abhängigkeit der Einstellung von der Richtung des Primärstromes erkennen. Genaue Messungen von *D* wurden daher nicht unternommen. Wohl aber ist die Methode für Widerstandsmessungen dieser Stoffe sehr brauchbar. Ich benutzte ein Widerstandsgefäss von Nernst mit Manganini-Lösung. Auch bei einer Leitfähigkeit von $1{,}15 . 10^{-7}$, wie sie 0,01 K Cl[1]) besitzt, war eine Widerstandsbestimmung möglich. Wenn auch die Galvanometerausschläge nicht in dem Masse wachsen und abnehmen wie bei den guten Isolatoren, so ist doch bei vollständiger Widerstandskompensation der Nullpunkt der Einstellung zu finden. Bei der vorhandenen Galvanometerunruhe ist es jedoch schwierig. Um die Leitfähigkeit in meinem mit 0, 01 K Cl gefüllten Gefäss zu kompensieren, war ein Widerstand von 48 Ohm notwendig. Als Kondensatorverschiebung stellte ich ca. 125 mm fest. Die Berechnung hieraus liefert eine Dielektricitätskonstante, welche gegen Wasser 1,09 mal so gross ist. Nernst fand hierfür 1,05, Smale[2]) sogar 1,113.

1) Nernst, Annalen Bd. 60. S. 216. 1897.
2) Nernst, Annalen Bd. 60. S. 627. 1897.

Zusammenfassung.

Unter der Benutzung schneller elektrischer Schwingungen, der Verwendung eines für Messungen geeigneten und zuverlässigen Kohärers und unter möglichster Berücksichtigung des Resonanzprinzips ist eine Brückenmethode zur Bestimmung der Dielektricitätskonstante ausgearbeitet, die eine hohe Empfindlichkeit besitzt, die die Messungen von Dielektricitätskonstanten ohne Widerstandskompensation bis zur Leitfähigkeit von ca. $3{,}5 . 10^{-9}$ gestattet und die sich für dielektrische Messungen und Widerstandsbestimmungen an Substanzen mit grösserer Leitfähigkeit unter Anwendung von Widerstandskompensatoren in gleichem Masse benutzen lässt, wie die Methoden von Nernst.

Lebenslauf.

Ich, Wilhelm Scheer, ev. Konfession, wurde am 9. Sept. 1875 als Sohn des bereits verstorbenen Mühlenbesitzers W. Scheer zu Oranienbaum in Anhalt geboren. Nach Besuch der 5klassigen Bürgerschule meines Heimatortes trat ich mit 14 Jahren in das sechsklassige Landesseminar zu Cöthen ein, welches ich nach bestandener erster Lehramtsprüfung 1896 verliess. Nach einjähriger Hauslehrertätigkeit wurde mir die provisorische Verwaltung einer Lehrerstelle in Reinstedt am Harz übertragen. Hier wurde ich auch nach bestandener zweiter Lehramtsprüfung 1898 definitiv angestellt. Ostern 1900 legte ich als Extraneer nach erlangter Zulassung durch das preussische Kultusministerium die Reifeprüfung am Falk-Realgymnasium zu Berlin ab. Hierauf studierte ich 6 Semester in Berlin und 3 Semester in Greifswald Mathematik, Physik, Botanik, Zoologie, Religion und Philosophie. Am 2. August 1904 bestand ich das examen rigorosum. Während meiner Studienzeit besuchte ich die Vorlesungen und Übungen folgender Professoren und Dozenten.

Berlin: Ascherson, Baginsky, v. Bezold, Blasius, Engelmann, Engler, Frobenius, Fuchs†, Harsley, Harnack, Hintze, Knoblauch, Kny, Krigar-Menzel, Landau, Lasson, Lehmann-Filhés, Meyer, Münch, Naudé, Oncken, Paulsen, Planck, Scheffer-Boichorst †, Schmitt, Schwarz, Schwendener, Schulze, Warburg, Weinstein.

Greifswald: Auwers, Berg, Haussleiter, König, Kowalewski, Müller, Rehmke, Thomé.

Allen meinen hochverehrten Herren Lehrern, besonders aber Herrn Prof. Dr. König, fühle ich mich zu tiefstem Danke verpflichtet.

Thesen.

1.

Eine durchweg befriedigende Theorie der Wirkung des Kohärers ist bis jetzt nicht gegeben.

2.

Der Nernstsche Trogkondensator bedarf einer zweckmässigen Umgestaltung.

3.

Reinckes Dominantentheorie muss allgemein befriedigen.

Fig. 1.

L₂ J₁ C₁ C₂ O₁ O₂ C₃ C₄ J₂ K E G

Fig. 3

J F C₀ L₁ I L₂ J₁ C₁ C₂ L₃ O₁ O₂ C₃ C₄ J₂ G K E II III

Fig. 2.

K₁ T K₂ S

Fig. 4.

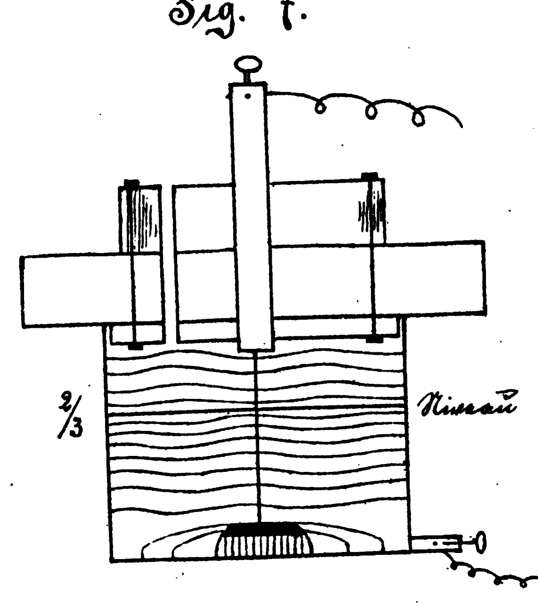
Fig. 5.

J_1 L_3 J_2 C_i D + − T E

Fig. 6.

L_2 J_1 c_1 c_2 L_3 O_1 O_2 c_3 c_4 J_2

Fig. 7.



LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA